T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電子ビームイオン源入射用多核種生成レーザーイオン源の開発
Title(English)	Development of a laser ion source for injection of various species into an Electron beam ion source
著者(和文)	関根恵
Author(English)	Megumi Sekine
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9475号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林崎　規託,赤塚　洋,井頭　政之,小栗　慶之,矢野　豊彦,中川　孝秀
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9475号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名	関根　恵	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	林﨑　規託	准教授	審査員	赤塚　洋	准教授
	審査員	井頭　政之	教授		中川　孝秀	ﾁｰﾑﾘｰﾀﾞｰ
		小栗　慶之	教授			
		矢野　豊彦	教授			

論文審査の要旨（2000字程度）

本論文は、「電子ビームイオン源入射用多核種生成レーザーイオン源の開発」と題し、全７章から構成されている。

第１章「序論」では、本研究が行われた米国 Brookhaven National Laboratory に設置されている、Relativistic Heavy Ion Collider（RHIC）を主リングとする重イオン加速器施設について述べるとともに、そのための多価イオン源である電子ビームイオン源（Electron Beam Ion Source、以下 RHIC EBIS とする）には１価イオンを供給する１次イオン源が不可欠であり、これまで利用されてきたホロカソードイオン源には、①生成イオンの切り替えに伴う大気開放や長い交換時間、②供給ビーム電流量が小さいイオンにおける EBIS 捕獲効率の低下、③バッファーガスの必要性等の問題があることを指摘している。そして、本論文の目的が、新しい１次イオン源として専用のレーザーイオン源を開発すること、また、レーザーイオン源から取り出されたビーム電流波形の新しい制御方法として、プラズマ輸送部にパルス励磁型ソレノイド磁場の導入を試みるものであることを述べている。

第２章「原理」では、本論文で取り扱う EBIS 及びレーザーイオン源の構造と動作原理、また、荷電粒子ビームの主要パラメータのひとつであるビームエミッタンスの定義について述べている。

第３章「EBIS 用レーザーイオン源の原理実証機の設計と製作」では、本研究で新しく開発を行う多核種入射用レーザーイオン源のビーム供給先となる RHIC EBIS が、１次イオン源に求める粒子数（電荷量）やビームアクセプタンス等の性能に関して整理し、それに応じて新しく開発した長さ３ｍのソレノイドコイル付プラズマ輸送部を有する Nd:YAG レーザーイオン源の原理実証機の構成と各部の機能について述べている。

第４章「原理実証機による基礎実験」では、前章で述べた原理実証機による基礎実験として、Fe や Cu の１価イオンを中心に、ソレノイド磁場が無い条件における動作確認実験、ソレノイド磁場通過実験及びダブルレーザー照射実験の結果について述べ、ビーム電流量やパルス波形に及ぼす効果を明らかにしている。また、一般的にレーザーイオン源の利用は困難とされてきた陽子ビームの生成について、ZrH_2、MgH_2、TiH_2 の金属水素化物の粉末を圧縮固化したものをターゲットに使用し、その実用可能性を検証している。

第５章「原理実証機による EBIS 入射模擬実験と実用機の開発」では、最終的な開発装置であるレーザーイオン源の実用機から取り出されたイオンビームが、RHIC EBIS に入射するまでの間に、ホロカソードイオン源が供給する数十～数百μA オーダーのピーク電流用に設計された、長さ約４ｍの低エネルギービーム輸送系を通過する必要があることを述べている。そして、実用機の設計パラメータの取得と最適化を目的に、過去に RHIC EBIS の試験に使用されていた低エネルギービーム輸送系と、第３章で述べたレーザーイオン源の原理実証機を組み合わせた入射模擬実験を実施し、C、Al、Si、Cr、Fe、Cu、Ta、Au の各１価イオンに対する、電荷量やビームエミッタンスの測定値、ソレノイド磁場やダブルレーザーの有無による影響をまとめている。また、原理実証機の入射模擬実験により得られた結果をフィードバックした実用機の設計製作内容について述べている。この新しいレーザーイオン源では、移動式ターゲットホルダーの導入により、大気開放を必要とせずに生成イオンを短時間で切り替え可能であり、さらにバッファーガスの必要も無いことから、これまでホロカソードイオン源が抱えていた問題を全て解決している。

第６章「パルスソレノイド磁場によるビーム制御の研究」では、レーザー照射ターゲットと長さ３ｍの定常磁場を与えるプラズマ輸送部の間にパルス励磁型ソレノイドコイルを導入し、アブレーションプラズマのイオン密度、イオン取り出し後においてはビーム電流量の時間構造に対して積極的に変化を与えることを提案している。その結果が良好であれば、１次ビームのパルス波形を山形から矩形に変化させて電荷量の時間分布の均等化や、RHIC EBIS 入射部におけるビーム形状を最適化する等の効果が得られると述べている。そして、自作したパルス励磁型ソレノイドコイルを用いて、励磁タイミングが１μs から 16 μs までの範囲かつピーク磁場強度が 1.5×10^{-4} T 以上の領域において電荷量の増加がみられ、特にビームパルス後半の電流量の増加はダブルレーザー照射法の代替となり得ること、また、ツイスパラメータの制御も可能であることを見出している。

第７章「結論」では、各章において得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに、本論文は EBIS 入射用の新しい１次イオン源としてレーザーイオン源が適用可能であることを明らかにし、さらに、レーザーイオン源から取り出したビーム電流波形の新しい制御方法としてパルス励磁型ソレノイドコイルが効果的であることを示し、イオン源工学分野に新たな知見を与えるものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認められる。